

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2016-14600

(P2016-14600A)

(43) 公開日 平成28年1月28日(2016.1.28)

(51) Int.Cl. F I テーマコード(参考)  
 GO1B 11/00 (2006.01) GO1B 11/00 G 2F065

審査請求 未請求 請求項の数 5 O L (全 21 頁)

(21) 出願番号 特願2014-136970 (P2014-136970)  
 (22) 出願日 平成26年7月2日(2014.7.2)

(71) 出願人 000146847  
 DMG森精機株式会社  
 奈良県大和郡山市北郡山町106番地  
 (74) 代理人 110000925  
 特許業務法人信友国際特許事務所  
 (72) 発明者 中村 勇輔  
 神奈川県伊勢原市鈴川45 株式会社マグ  
 ネスケール内  
 (72) 発明者 見寺 祥幸  
 神奈川県伊勢原市鈴川45 株式会社マグ  
 ネスケール内  
 (72) 発明者 田宮 英明  
 神奈川県伊勢原市鈴川45 株式会社マグ  
 ネスケール内

最終頁に続く

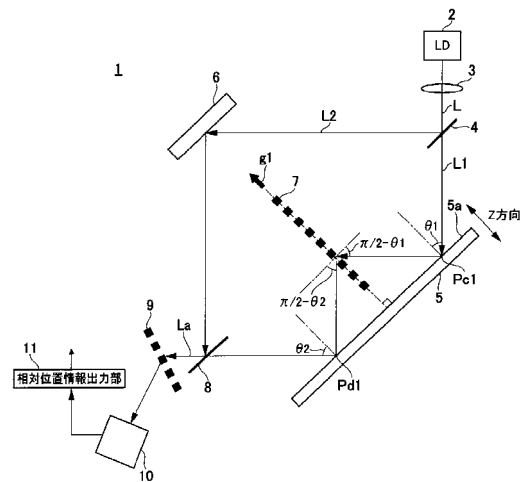
(54) 【発明の名称】 変位検出装置

(57) 【要約】

【課題】高精度に被測定部材の高さ方向の変位を検出でき、高速で安定した計測が可能な変位検出装置を提供する。

【解決手段】物体光となる第1の光束L1を被測定部材5に入射させ、その反射光を第1回折格子7で回折させた後、再度、被測定部材5に入射させる。そして、第1の光束L1の被測定部材5による2回目の反射光を第2回折格子9で回折させる。第1の光束L1を第2回折格子L2で回折させることで、被測定部材5がチルトすることによる光路長の変化をキャンセルする。

【選択図】 図1



## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

光を出射する光源と、  
 前記光源から出射された光を、第 1 の光束及び第 2 の光束に分割する光束分割部と、  
 前記光束分割部に分割され、かつ、被測定部材の被測定面によって反射された第 1 の光束を回折し、回折した前記第 1 の光束を再び前記被測定部材の被測定面に入射させる透過型の第 1 回折格子と、  
 前記光束分割部に分割された第 2 の光束を反射させる反射部と、  
 前記第 1 回折格子で回折された後に前記被測定部材の被測定面に入射され、前記被測定部材の被測定面によって反射された前記第 1 の光束と、前記反射部で反射された前記第 2 の光束を結合する光束結合部と、  
 前記光束結合部によって前記第 1 の光束と前記第 2 の光束を結合することによって得られた干渉光を受光する受光部と、  
 前記第 1 の光束の、前記被測定部材と前記受光部との間の光路上に配置され、前記第 1 回折格子で回折された後に前記被測定部材の被測定面に入射され、前記被測定部材の被測定面によって反射された前記第 1 の光束を回折する透過型の第 2 回折格子と、  
 前記受光部により受光した干渉光の強度に基づいて前記被測定部材の被測定面の高さ方向の変位情報を出力する相対位置情報出力部と  
 を備える変位検出装置。

10

## 【請求項 2】

20

前記第 1 の光束における前記光束分割部から前記第 1 回折格子を介して前記光束結合部までの光路長と、前記第 2 の光束における前記光束分割部から前記反射部を介して前記光束結合部までの光路長は略等しく設定されている  
 請求項 1 に記載の変位検出装置。

## 【請求項 3】

前記第 1 回折格子の格子ベクトルは、前記被測定部材の被測定面に対して略直角に配置される  
 請求項 1 又は 2 に記載の変位検出装置。

## 【請求項 4】

前記第 1 の光束の、前記第 1 回折格子及び前記第 2 回折格子への各々の入射角がブラッグ条件を満たし、かつ、前記光束分割部から出射された前記第 1 の光束が最初に前記被測定部材の被測定面に入射する際の入射角  $\theta$  と前記第 1 回折格子の格子ベクトルに対する前記第 2 回折格子の格子ベクトルの角度  $\phi$  とが、  

$$0 = \theta / 2 - \phi - \arctan [ \{ \tan ( \theta / 2 - \phi ) \} / 2 ]$$
  
 を満たす  
 請求項 2 に記載の変位検出装置。

30

## 【請求項 5】

さらに、前記光源と、前記光束分割部との間の光路上に配置された第 3 回折格子を備える  
 請求項 1 ~ 4 のいずれか一項に記載の変位検出装置。

40

## 【発明の詳細な説明】

## 【技術分野】

## 【0001】

本発明は、光源から出射された光を用いた非接触センサによって被測定面の変位を検出する変位検出装置に関し、詳しくは被測定面の垂直な方向の変位を検出する技術に関する。

## 【背景技術】

## 【0002】

従来、被測定面の変位や形状を非接触で測定する装置として光を用いた変位検出装置が広く利用されている。代表的な例としては、レーザ光を被測定面に照射し、反射光の位置

50

の変化をPSDで検出する方法がある。しかしながら、この方法では、被測定面の傾きの影響を受けやすく、感度が低く、測定範囲を広げると測定の分解能が落ちるといった問題があった。

【0003】

これに対し、被測定面をミラーとしてマイケルソンの干渉計を使用する方法がある。この方法は、検出範囲が広く、直線性に優れるが、測定範囲が広がると光源の波長の変化と空気の屈折率の変化を受ける。

【0004】

一方、光源から出射した光を対物レンズで被測定面に集光し、被測定面で反射した反射光を非点光学素子で集光して受光素子に入射させて、非点収差法によりフォーカスエラー信号を生成する。そして、フォーカスエラー信号を用いてサーボ機構を駆動させ、対物レンズの焦点位置が被測定面となるように対物レンズを変位させる。このとき、対物レンズに連結部材を介して一体的に取り付けられたリニアスケールの目盛を読み取ることで、被測定面の変位を検出する方法がある（例えば、特許文献1を参照）。この方法では、被測定面の傾きの変化を受けにくく、大きな測定範囲を高い分解能で計測できるメリットがあった。

10

【0005】

特許文献1に開示された変位検出装置では、変位検出の高精度化を図るために、対物レンズの開口数（NA：Numerical Aperture）を大きくして被測定面に集光させるビーム径を小さくしている。例えば、被測定面に結像されるビーム径を2 $\mu$ m程度にすると、リニアスケールの検出精度は、数nm～100数nm程度になる。

20

【先行技術文献】

【特許文献】

【0006】

【特許文献1】特開平5-89480号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

しかしながら、従来の特許文献1に記載された変位検出装置では、例えば磁石とコイルを用いたアクチュエータ等のような駆動機構により対物レンズをその光軸方向に上下運動させている。そのため、アクチュエータの構造や質量によって対物レンズの上下運動のメカ的な応答周波数が制限されていた。その結果、特許文献1に記載された変位検出装置では、その使用条件に制約が生じてしまっていた。

30

【0008】

本発明の目的は、高精度に被測定部材の高さ方向の変位を検出でき、高速で安定した計測が可能な変位検出装置を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【0009】

上記課題を解決し、本発明の目的を達成するため、本発明の変位検出装置は、光を出射する光源と、光束分割部と、第1回折格子と、反射部と、光束結合部と、第2回折格子と、相対位置情報出力部とを備える。光束分割部は、光源から出射された光を、第1の光束及び第2の光束に分割する。第1回折格子は、光束分割部に分割され、かつ、被測定部材の被測定面によって反射された第1の光束を回折し、回折した第1の光束を再び被測定部材の被測定面に入射させる透過型の回折格子である。反射部は、光束分割部に分割された第2の光束を反射させる。光束結合部は、第1回折格子で回折された後に被測定部材の被測定面に入射され、被測定部材の被測定面によって反射された第1の光束と、反射部で反射された第2の光束を結合する。受光部は、光束結合部によって第1の光束と第2の光束とを結合することによって得られた干渉光を受光する。第2回折格子は、第1の光束の、被測定部材と受光部との間の光路上に配置され、第1回折格子で回折された後に被測定部材の被測定面に入射され、被測定部材の被測定面によって反射された第1の光束を回折す

40

50

る透過型の回折格子である。相対位置情報出力部は、受光部により受光した干渉光の強度に基づいて被測定部材の被測定面の高さ方向の変位情報を出力する。

【発明の効果】

【0010】

本発明によれば、被測定部材がチルトした場合にも被測定部材の高さ方向の変位を高精度に検出でき、高速で安定した計測が可能な変位検出装置が得られる。

【図面の簡単な説明】

【0011】

【図1】本発明の第1の実施形態に係る変位検出装置の概略構成図である。

【図2】図2Aは、第1回折格子の一例を示す断面図、図2Bは、第1回折格子の他の例を示す断面図である。

【図3】被測定部材の表面が、第1の光束の光路が形成される面に対して垂直な軸を回転軸としてチルトした場合の光路を示す図である。

【図4】被測定部材がある角度チルトする前後における第2回折格子周辺部の光束の様子を拡大して示した図である。

【図5】第2回折格子を配置した場合と配置しない場合の第1の光束の光路長を示した図である。

【図6】変位検出装置の受光部の概略構成を示す。

【図7】相対位置情報出力部の構成を示すブロック図である。

【図8】被測定部材が基準位置からz方向へx/2だけ移動した場合の光路の変化を示す図である。

【図9】本発明の第2の実施形態に係る変位検出装置の概略構成図である。

【図10】本発明の第3の実施形態に係る変位検出装置の概略構成図である。

【図11】変位検出装置の第1の利用例について示す模式図である。

【図12】変位検出装置の第2の利用例について示す模式図である。

【発明を実施するための形態】

【0012】

以下、本発明の実施形態に係る変位検出装置の一例を、図面を参照しながら説明する。本発明の実施形態は以下の順で説明する。なお、本発明の技術は、以下の例に限定されるものではない。

1. 第1の実施形態：光路長の変化をキャンセルする回折格子を配置した変位検出装置

1-1. 構成

1-2. 変位検出方法

2. 第2の実施形態：光路長の変化及び光源の波長変化をキャンセルする回折格子を配置した変位検出装置

3. 第3の実施形態：光路長の変化及び光源の波長変化をキャンセルする回折格子を配置した変位検出装置

3-1. 構成

3-2. 変位検出方法

4. 変位検出装置の利用例

【0013】

《1. 第1の実施形態：光路長の変化をキャンセルする回折格子を配置した変位検出装置》

[1-1. 構成]

図1は、本発明の第1の実施形態に係る変位検出装置の概略構成図である。本実施形態の変位検出装置1は、透過型の第1回折格子7を用いて、被測定部材5の高さ方向の変位を検出する装置である。ここで、高さ方向とは、被測定部材の被測定面5aが平面であるとした場合に、その被測定面5aに垂直な方向を指し、図1では、高さ方向をz方向として示す。図1に示すように、変位検出装置1は、光源2と、光束分割部4と、第1回折格子7と、反射部6と、受光部10と、第2回折格子9と、相対位置情報出力部11とを備

10

20

30

40

50

える。

【0014】

光源2は、例えば半導体レーザーダイオードやスーパーluminescenceダイオード、ガスレーザー、固体レーザー、発光ダイオード等を用いることができる。

【0015】

光源2として、可干渉距離が長い光源を用いると、被測定部材5の被測定面5aのチルト等による物体光と参照光との光路長差の影響を受けにくくチルト許容範囲が広がる。また、光源2の可干渉距離が短くなるほど、不要な迷光の干渉によるノイズを防ぐことができ、高精度な計測をすることができる。

【0016】

さらに、光源2として、シングルモードのレーザーを用いた場合、波長を安定させるために、光源2の温度をコントロールすることが望ましい。また、シングルモードのレーザーの光に、高周波重畳などを付加して、光の可干渉性を低下させてもよい。さらに、光源2として、マルチモードのレーザーを用いた場合も、ペルチェ素子等で光源2の温度をコントロールすることで、不要な迷光の干渉によるノイズを防ぎ、さらに安定した計測が可能になる。

【0017】

なお、光源2の数は、1つに限定されるものではなく、複数の光源2を配置して互いの光りを重ね合わせることで光量を増加させてもよい。

【0018】

この光源2から出射された光Lは、光束分割部4に入射する。なお、光源2と光束分割部4の間には、コリメートレンズ等からなるレンズ3が配置されている。レンズ3は、光源2から出射された光を平行光にコリメートする。そのため、光束分割部4には、レンズ3により平行光にコリメートされた光が入射される。その他、光源2と光束分割部4との間に、被測定部材5に集光したり、後述する受光部10の受光素子に集光したりするようなレンズを配置してもよい。

【0019】

光束分割部4は、コリメートされた光を物体光となる第1の光束L1と、参照光となる第2の光束L2とに分割する。第1の光束L1は、被測定部材5に照射され、第2の光束L2は、参照光用の反射部6に照射される。光束分割部4としては、例えば、偏光ビームスプリッタやハーフミラーを用いることができる。

【0020】

本実施形態では、光束分割部4として偏光ビームスプリッタを用いる例とする。したがって、本実施形態の光束分割部4は、入射した光のうちs偏光を反射し、p偏光を透過するため、光束分割部4で分割された第1の光束L1はp偏光となり、第2の光束L2はs偏光となる。

【0021】

また、光源2と光束分割部4との間に偏光板を設けてもよい。これにより、それぞれの偏光に対して直行した偏光成分としてわずかに存在する漏れ光、ノイズを除去することができる。

【0022】

本実施形態の変位検出装置1では、図1に示す位置に配置した被測定部材5の被測定面5aに垂直な高さ方向（すなわち、図1に示すz方向）における被測定部材5の変位を検出する。なお、本実施形態の変位検出装置1で変位検出が可能な被測定部材5としては、ミラーが挙げられる。その他、例えばガラス基板の面、シリコンウェハの面、反射膜の表面、反射膜の中層面など、光を反射できる面を備えていれば被測定部材5とすることができる。それらの表面高さを測定することができる。

【0023】

被測定部材5は、光束分割部4で分割された第1の光束L1を反射し、第1回折格子7に入射させると共に、第1回折格子7によって回折された第1の光束L1を再度反射して

10

20

30

40

50

光束結合部 8 に入射させる位置に配置されている。

【 0 0 2 4 】

第 1 回折格子 7 は、透過型の回折格子であり、その格子ベクトル  $g_1$  が被測定部材 5 の被測定面 5 a に対して略直角、すなわち第 1 回折格子 7 の回折面と被測定部材 5 の被測定面 5 a で形成される角度がほぼ  $90^\circ$  となるように配置されている。ここで、格子ベクトル  $g_1$  は、図 1 に示すように、第 1 回折格子 7 の格子パターンが並ぶ方向と平行な方向を指す。

【 0 0 2 5 】

なお、第 1 回折格子 7 における被測定部材 5 に対する配置する精度は、変位検出装置 1 に要求する測定精度によって種々設定されるものである。すなわち、変位検出装置 1 に高い精度を要求する場合、第 1 回折格子 7 を被測定部材 5 の被測定面 5 a に対して  $90^\circ \pm 0.5^\circ$  の範囲に配置することが好ましい。これに対し、第 1 回折格子 7 を被測定部材 5 の被測定面 5 a に対して  $90^\circ$  から  $\pm 2^\circ$  の範囲で配置しても、変位検出装置 1 を工作機械等の低精度の測定に用いる場合には、十分である。

【 0 0 2 6 】

また、第 1 回折格子 7 には被測定部材 5 の被測定面 5 a で反射された第 1 の光束  $L_1$  が入射し、第 1 回折格子 7 に入射した第 1 の光束  $L_1$  は第 1 回折格子 7 によって回折される。この第 1 回折格子 7 の格子ピッチ  $d_1$  は、回折角が第 1 回折格子 7 への入射角とほぼ等しくなるように設定されてもよく、また等しくなくてもよい。第 1 回折格子 7 の格子ピッチ  $d_1$  は、第 1 の光束  $L_1$  の被測定面 5 a への一回目の入射時における入射角を  $\theta_1$ 、第 1 の光束  $L_1$  の被測定面 5 a への 2 回目の入射時における入射角を  $\theta_2$ 、波長を  $\lambda$  とすると、以下に示すブラッグの条件式を満たす値に設定することが好ましい。

[ 式 1 ]

$$d_1 = n \lambda / (\sin(\theta_1 / 2) + \sin(\theta_2 / 2))$$

ここで、 $n$  は、正の次数である。

【 0 0 2 7 】

なお、上述したように、第 1 回折格子 7 は、その格子ベクトル  $g_1$  が被測定部材 5 の被測定面 5 a に対して直角 ( $90^\circ$ ) となるように配置されているため、第 1 の光束  $L_1$  の第 1 回折格子 7 への入射角は  $\theta_1 = 90^\circ$  となる。

【 0 0 2 8 】

ここで、第 1 回折格子 7 として適用可能な回折格子の例を説明する。図 2 A は、第 1 回折格子 7 の一例を示す断面図、図 2 B は、第 1 回折格子 7 の他の例を示す断面図である。

【 0 0 2 9 】

図 2 A に示す第 1 回折格子 7 A は、略透明なガラス基板 7 a の一面に例えばクロム (Cr) からなる格子部 7 b を形成したものである。一般的に、格子部 7 b は、ガラス基板 7 a の一面にクロム等の薄膜を真空蒸着によって形成されるため、その厚みは、 $1 \mu\text{m}$  以下である。

【 0 0 3 0 】

図 2 B に示す第 1 回折格子 7 B は、写真乾板を用いた、いわゆるポリウムタイプのホログラムである。吸収型のホログラムを用いてもよいが、ここでは位相型のホログラムについて説明する。この第 1 回折格子 7 B における格子部 7 c は、例えば次のようにして形成される。

【 0 0 3 1 】

まず、ガラス基板 7 a の一面に光に感光する銀塩の乳剤を塗布し、干渉縞を露光し、現像後、漂白する。これにより、格子部 7 c には、銀の粒子が残っている箇所 7 d と、残っていない箇所 7 e が形成される。ここで、銀の粒子が残っている箇所 7 d は、屈折率が高く、銀の粒子が残っていない箇所 7 e は、屈折率が低くなる。すなわち、位相型のホログラムである。また、材料として写真乾板の代わりにホログラム記録用フォトポリマーを使用してもよい。

【 0 0 3 2 】

10

20

30

40

50

このような構成を有する第1回折格子7Bの場合、所定の角度（入射角）で光が入射すると、所定の角度（回折角）で光が出力（回折）される。さらに、式1に示すブラッグ条件を満たすときに、第1回折格子7Bによって回折される回折光の出力を最大にすることができる。すなわち、第1回折格子7Bによって回折された回折光の光量が低下することを防ぐことができる。

**【0033】**

この第1回折格子7Bの格子部7cの厚みN1は、格子ピッチd1の4倍以上が好ましい。しかしながら、光が格子部7cで吸収されることを考慮すると、格子部7cの厚みN1は、格子ピッチd1の約4～20倍程度に設定することが好ましい。

**【0034】**

また、図2Bに示すような、ポリウムタイプのホログラムからなる第1回折格子7Bは、被測定部材5から反射した第1の光束L1の回折効率を高めることができ、信号のノイズを低下させることができる。

**【0035】**

図1に戻り、反射部6について説明する。反射部6は、図1に示すように、光束分割部4によって分割された第2の光束L2を反射し、光束結合部8に入射させる。反射部6は、第1の光束L1における光束分割部4から光束結合部8までの光路長と、第2の光束L2における光束分割部4から光束結合部8までの光路長とが等しくなるように配置される。反射部6を設けたことにより、第1の光束L1及び第2の光束L2における光路長、及び、光軸の角度が調整しやすくなる。これにより、気圧、湿度、温度などの環境の変化による光源2の波長変動の影響を受けにくい変位検出装置1を得ることができる。

**【0036】**

さらに、第1の光束L1の光路長と第2の光束L2の光路長とが等しく設計されているため、気圧、湿度、温度などの環境の変化による光源2の波長変動があったとしても、第1の光束L1及び第2の光束L2が受ける影響を等しくすることができる。その結果、気圧補正、湿度補正、温度補正などを行う必要がなく、周囲環境に関わらず安定した測定を行うことができる。

**【0037】**

光束結合部8は、被測定部材5から反射されてきた第1の光束L1、及び、反射部6から反射されてきた第2の光束L2を重ね合わせて第2回折格子9に入射させる。光束結合部8としては、偏光ビームスプリッタを用いることができる。光束結合部8に到達した第1の光束L1と第2の光束L2は、互いに直交した直線偏光となっている。したがって、互いに直交した直線偏光の第1の光束L1及び第2の光束L2が光束結合部8で重なり合い、その重なり合った光束が第2回折格子9に入射する。

**【0038】**

第2回折格子9は、透過型の回折格子で構成されており、光束結合部8で重ね合わされた第1の光束L1及び第2の光束L2を回折して受光部10に入射させる。第2回折格子9は、被測定部材5の被測定面5aが、第1の光束L1の光路が形成される面に対して垂直な軸を回転軸として傾いた（チルトした）場合の第1の光束L1の光路長の変化をキャンセルするための部材である。以下に、第2回折格子9の構成について詳述する。

**【0039】**

図3は、被測定部材5の被測定面5aが、第1の光束L1の光路が形成される面に対して垂直な軸を回転軸としてチルトした場合の光路を示す図である。図3において、チルトしていない時の被測定部材5と第1の光束L1の光路を二点鎖線で示しており、だけチルトしたときの被測定部材5と第1の光束L1の光路を実線で示している。

**【0040】**

被測定部材5が、図3に示すように だけチルトした場合、第1の光束L1の入射位置がずれると共に、被測定部材5への第1の光束L1の入射角も変化する。これにより、第1の光束L1の光路が変化し、結果的に、光束分割部4から光束結合部8までの第1の光束L1の光路長が変化する。そして、このとき、第1の光束L1の被測定部材5の被測

10

20

30

40

50

定面 5 a における 2 回目の反射位置から出射される光路は、元の光路（被測定部材 5 がチルトしていないときの光路）に対してほぼ並行に移動する。本実施形態は、この現象を利用して、被測定部材 5 のチルトによる光路長の変化を、第 2 回折格子 9 を配置することでキャンセルする。

【 0 0 4 1 】

図 4 は、被測定部材 5 がある角度チルトする前後における第 2 回折格子 9 周辺部の光束の様子を拡大して示した図である。図 4 では、被測定部材 5 がチルトしていない場合の第 1 の光束 L 1 を二点鎖線で示し、被測定部材 5 がチルトした場合の第 1 の光束 L 1 ' を実線で示している。また、図 4 の一点鎖線 S（以下、直線 S）は、第 1 の回折格子 7 の格子ベクトル  $g_1$  と平行な線である。さらに、直線 S 上に回折格子が配置された場合の、第 1 の光束 L 1、L 1 ' のそれぞれの回折光  $L_{1s}$ 、 $L_{1's}$  を破線で示す。

10

【 0 0 4 2 】

第 1 の光束 L 1 と第 1 の光束 L 1 ' において、第 1 回折格子 7 への入射角と第 1 回折格子 7 からの射出角の和が一定であると近似した場合、すなわち、以下の式 2 が成立する場合、第 1 の光束 L 1 と第 1 の光束 L 1 ' は平行である。

[ 式 2 ]

$$\theta_1 / 2 - \theta_2 + \sin^{-1} \{ \sin(\theta_1 / 2 - \theta_2) \} = \text{Const}$$

【 0 0 4 3 】

このとき、第 1 の光束 L 1 と第 1 の光束 L 1 ' の第 1 回折格子 7 と平行な直線 S までの光路長はほぼ等しい。第 1 の光束 L 1 から第 1 の光束 L 1 ' の平行移動量を a とし、平行移動量 a の第 2 回折格子 9 への射影、すなわち、第 1 の光束 L 1 と第 2 回折格子 9 との交点を P 1、第 1 の光束 L 1 ' と第 2 回折格子 9 との交点を P 2 とした場合の P 1 - P 2 間の距離 L (  $\theta_3$  ) とする。そうすると、第 2 回折格子 9 が第 1 の光束 L 1 及び L 1 ' に直行する面から角度  $\theta_3$  だけチルトしている場合、L (  $\theta_3$  ) と a は、 $L ( \theta_3 ) \cdot \cos \theta_3 = a$  を満たす。しかしながら、受光部 10 等は、光束の進行方向に対して直交して配置されるため、第 2 回折格子 9 が配置されない場合、受光部 10 で受光される第 1 の光束 L 1 と第 1 の光束 L 1 ' とでは、光路長差 D が発生する。

20

【 0 0 4 4 】

すなわち、第 2 回折格子 9 が配置されない場合、図 4 では、第 1 の光束 L 1 ' が第 1 の光束 L 1 に対して距離 D だけ短い。そのため、本実施形態では、第 2 回折格子 9 により、距離 D を補うように第 1 の光路 L 1 ' を補正する。第 2 回折格子 9 を配置することによる光路長差の変化は、点 P 1 から第 1 の光束 L 1 ' に対して下ろした垂線と第 1 の光束 L 1 ' との交点を P 3、P 4 とすると、P 3 - P 2 - P 4 間の距離となる。この距離が先に述べた距離 D と等しいとき、被測定部材 5 がチルトした際に生じる光路長変化を低減できる。すなわち、第 2 回折格子 9 に対する入射角  $\theta_3$  が、以下の式 3 を満たすときである。

30

[ 式 3 ]

$$2 \{ L ( \theta_3 ) \sin \theta_3 \} = D$$

【 0 0 4 5 】

ここで、 $L ( \theta_3 ) \cdot \cos \theta_3 = a$  であるため、以下の式 4 を得る。

[ 式 4 ]

$$\tan ( \theta_3 ) = D / 2 a$$

40

【 0 0 4 6 】

また、 $D / a = \tan ( \theta_1 / 2 - \theta_2 )$  であるため、式 4 は、以下の式 5 となる。

[ 式 5 ]

$$\tan \theta_3 = \{ \tan ( \theta_1 / 2 - \theta_2 ) \} / 2$$

ここで、 $\theta_1$  は第 1 の光束 L 1 の被測定面 5 a への入射角、 $\theta_2$  は第 1 の光束 L 1 の第 1 回折格子 7 への入射角、 $\theta_3$  は第 1 の光束 L 1 の第 2 回折格子 9 への入射角である。すなわち、式 2 で示される条件を満たすように第 2 回折格子 9 が配置されたとき、被測定部材 5 のチルトによる光路長の変位をキャンセルすることができる。

【 0 0 4 7 】

50



なお、式 5 に示す条件は、ブラッグの条件を満たす近辺で成立するが、その範囲については限定されるものではない。例えば、被測定面 5 a が基準の位置から  $\pm 3$  度程度傾いても、傾きによって発生した光路長の変位をキャンセルすることができる。

【 0 0 4 8 】

また、第 1 回折格子 7 及び第 2 回折格子 9 の入射角はブラッグ条件が満たされているため、第 1 回折格子 7 の格子ピッチ  $d_1$ 、及び第 2 回折格子 9 の格子ピッチ  $d_2$  はそれぞれ以下の式 6 で表すことができる。

[ 式 6 ]

$$d_1 = \lambda / (2 \times \sin(\theta / 2 - \alpha))$$

$$d_2 = \lambda / (2 \times \sin \beta)$$

10

【 0 0 4 9 】

そして、第 1 回折格子 7 の格子ベクトル  $g_1$  に対する第 2 回折格子 9 の格子ベクトル  $g_2$  の好ましい角度を  $\theta_0$  とすると、 $\theta_0$  は、以下の式 7 で表すことができる。

[ 式 7 ]

$$\theta_0 = \theta / 2 - \alpha - \beta$$

そして、この式 7 を式 5 に代入することで、以下の式 8 を得ることができる。

[ 式 8 ]

$$\theta_0 = \theta / 2 - \alpha - \arctan[\{\tan(\theta / 2 - \alpha)\} / 2]$$

【 0 0 5 0 】

したがって、第 1 回折格子 7 の格子ベクトル  $g_1$  を被測定部材 5 の被測定面 5 a に対して垂直に配置し、かつ、式 5 を満たす  $\theta_0$  を第 2 回折格子 9 の格子ベクトル  $g_2$  として設定することにより、被測定部材 5 のチルトによる第 1 の光束  $L_1$  の光路長の変化をキャンセルすることができる。

20

【 0 0 5 1 】

このように設定された第 2 回折格子 9 において、光束分割部 4 から光束結合部 8 までの第 1 の光束  $L_1$  の光路長の変化を補正する。図 5 は、第 2 回折格子 9 を配置した場合と配置しない場合の第 1 の光束  $L_1$  の光路長を示した図である。図 5 の横軸は、被測定部材 5 の基準の位置からのチルト量 ( $\alpha$ ) であり、縦軸は、被測定部材 5 がチルトしていないときと、 $\alpha$  だけチルトしたときの光路長差である。

【 0 0 5 2 】

図 5 に示すように、第 2 回折格子 9 を配置しない場合には、チルト角  $\alpha$  が大きくなるにつれて光路長差も大きくなっているが、第 2 回折格子 9 を配置することで、チルト角  $\alpha$  が大きくなっても光路長差を低減することができる。なお、第 2 の光束  $L_2$  は、被測定部材 5 の位置に関係なく常にほぼ一定の光路を辿るため、第 2 回折格子 9 は第 2 の光束  $L_2$  の光路長には影響を及ぼさない。

30

【 0 0 5 3 】

図 1 に戻り、変位検出装置 1 の受光部 10 の構成について説明する。受光部 10 は、第 2 回折格子 9 で回折された第 1 の光束  $L_1$  及び第 2 の光束  $L_2$  を受光し、干渉させる。その干渉強度を電気的な信号に変換して、その信号を相対位置情報出力部 11 に送る。

【 0 0 5 4 】

図 6 に、受光部 10 の概略構成を示す。図 6 に示すように、受光部 10 は、光束結合部 8 で重ね合わされた第 1 の光束  $L_1$  と第 2 の光束  $L_2$  を集光する集光レンズ 14 と、光を分割するハーフミラー 16 と、第 1 の偏光ビームスプリッタ 18 と、第 2 の偏光ビームスプリッタ 19 とを有している。また、ハーフミラー 16 と第 2 の偏光ビームスプリッタ 19 との光路上には、 $1/4$  波長板等からなる受光側位相板 17 が配置されている。

40

【 0 0 5 5 】

第 1 の偏光ビームスプリッタ 18 は、入射される光束の偏光方向が入射面に対して  $45$  度傾くように配置されている。この第 1 の偏光ビームスプリッタ 18 における光の出射口側には、第 1 の受光素子 33 と、第 2 の受光素子 34 が設けられている。また、第 2 の偏光ビームスプリッタ 19 における光の出射口側には、第 3 の受光素子 35 と、第 4 の受光

50

素子 36 が設けられている。

【0056】

これら第1の偏光ビームスプリッタ18及び第2の偏光ビームスプリッタ19は、s偏光成分を有する干渉光を反射させ、p偏光成分を有する干渉光を透過させて、光を分割するものである。そして、受光部10では、第1の受光素子33～第4の受光素子36において干渉強度を電気的な信号に変換し、その信号を相対位置情報出力部11に送る。

【0057】

相対位置情報出力部11は、受光部10から送られてきた信号を元に、被測定部材5のz方向の変位量を出力する。図7は、相対位置情報出力部11の構成を示すブロック図である。図7に示すように、相対位置情報出力部11は第1の差動増幅器61aと、第2の差動増幅器61bと、第1のA/D変換器62aと、第2のA/D変換器62bと、波形補正処理部63と、インクリメンタル信号発生器64とを有している。

10

【0058】

第1の差動増幅器61aには、第1の受光素子33及び第2の受光素子34が接続されており、第2の差動増幅器61bには、第3の受光素子35及び第4の受光素子36が接続されている。また、第1の差動増幅器61aには、第1のA/D変換器62aが接続されており、第2の差動増幅器61bには、第2のA/D変換器62bが接続されている。そして、第1のA/D変換器62a及び第2のA/D変換器62bは、波形補正処理部63と接続している。

【0059】

20

[1-2. 変位検出方法]

次に、図1、図6及び図7を参照して、本実施形態の変位検出装置1を用いた変位検出方法について説明する。

【0060】

図1に示すように、光源2から出射した光は、レンズ3によりコリメートされて平行光となる。そして、レンズ3によりコリメートされた平行光は、光束分割部4に入射する。光束分割部4に入射した光は、第1の光束L1と第2の光束L2に分割される。ここで、光束分割部4は、光のうちs偏光を反射し、p偏光を透過する。そのため、光束分割部4に分割された第1の光束L1はp偏光であり、第2の光束L2はs偏光である。

【0061】

30

光束分割部4で分割された光束のうち、第1の光束L1は被測定部材5の被測定面5aにおける第1の照射スポットPc1に入射角θ1で入射する。そして、被測定部材5は、第1の照射スポットPc1に入射した第1の光束L1を第1回折格子7に反射させる。

【0062】

被測定部材5によって反射された第1の光束L1は第1回折格子7を透過し、第1回折格子7に回折されて被測定部材5の被測定面5aにおける第1の照射スポットPc1とは異なる第2の照射スポットPd1に入射する。そして、被測定部材5は、第1回折格子7により回折され、第2の照射スポットPd2に入射した第1の光束L1を光束結合部8に入射させる。

【0063】

40

一方、光束分割部4で分割された光束のうち、第2の光束L2は反射部6に入射する。そして、反射部6は第2の光束L2を光束結合部8に入射させる。上述したように、反射部6は、第1の光束L1における光束分割部4から光束結合部8までの光路長と、第2の光束L2における光束分割部4から光束結合部8までの光路長が等しくなるように配置されている。そのため、気圧や湿度、温度の変化による光源2の波長変動があったとしても、第1の光束L1及び第2の光束L2が受ける影響を等しくすることができる。

【0064】

光束結合部8に入射した第1の光束L1及び第2の光束L2は、光束結合部8において重ね合わされて、干渉光となる。光束結合部8によって重ね合わされた第1の光束L1及び第2の光束L2は第2回折格子9に入射され、第2回折格子9によって回折されて、回

50

折された第 1 の光束 L 1 及び第 2 の光束 L 2 は受光部 1 0 に入射される。

【 0 0 6 5 】

本実施形態では、図 3 及び図 5 を用いて説明した原理により、被測定部材 5 がチルトした場合に発生する第 1 の光束 L 1 の光路長の変化は、第 1 の光束 L 2 が第 2 回折格子 9 に回折されることでキャンセルされる。これにより、受光部 1 0 では、被測定部材 5 の z 方向の変位量の情報のみを持った第 1 の光束 L 1 を受光することができる。

【 0 0 6 6 】

ここで、被測定部材 5 の z 方向への変位によって受光部 1 0 に入射する第 1 の光束 L 1 の変化について説明する。図 8 は、被測定部材 5 が基準位置から z 方向へ  $x / 2$  だけ移動した場合の光路の変化を示す図である。

10

【 0 0 6 7 】

被測定部材 5 が高さ方向に  $x / 2$  だけ移動すると、被測定部材 5 の被測定面 5 a に照射される第 1 の光束 L 1 は、第 1 の照射スポット P c 1 から第 2 の照射スポット P c 2 に移動する。また、被測定部材 5 に反射された第 1 の光束 L 1 は、第 1 回折格子 7 の回折位置 T 1 から回折位置 T 2 に移動する。ここで、第 1 回折格子 7 は、被測定部材 5 の被測定面 5 a に対して略直角に配置されているため、回折位置 T 1 と回折位置 T 2 の間隔は、照射スポット P c 1 と照射スポット P c 2 の間隔の 2 倍の  $x$  となる。すなわち、第 1 回折格子 7 上を移動する第 1 の光束 L 1 の移動量は、被測定部材 5 を移動した際の 2 倍の  $x$  となる。

【 0 0 6 8 】

また、第 1 回折格子 7 が被測定部材 5 の被測定面 5 a に対して略直角に配置されているため、被測定部材 5 が z 方向に変位しても、P c 2 - T 2 間の距離と、P c 2 - P c 1 - T 1 間の距離が一定であることから、第 1 の光束 L 1 の光路長は常に一定となることが分かる。すなわち、第 1 の光束 L 1 の波長は、変化しない。そして、被測定部材 5 が z 方向に変位すると、第 1 回折格子 7 に入射する位置だけが変化する。

20

【 0 0 6 9 】

よって、回折された第 1 の光束 L 1 には、 $Kx$  の位相が加わる。K は  $2 / d 1$  で示される波数である。つまり、被測定部材 5 が z 方向に対して  $x / 2$  だけ移動すると、第 1 の光束 L 1 は第 1 回折格子 7 上では  $x$  だけ移動する。そのため、第 1 の光束 L 1 には  $Kx$  の位相が加わり、1 周期分の光の明暗が生じる干渉光が受光部 1 0 によって受光される。

30

【 0 0 7 0 】

そして、互いに直交した直線偏光の第 1 の光束 L 1 と第 2 の光束 L 2 が重なった光束 L a が第 2 回折格子 9 で回折される。第 2 回折格子 9 では、前述したように、被測定部材 5 がチルトした場合には、第 1 の光束 L 1 の光路長の変化をキャンセルするように第 1 の光束 L 1 を回折する。

【 0 0 7 1 】

受光部 1 0 では、光束 L a は、集光レンズ 1 4 によって集光されて、ハーフミラー 1 6 に照射される。ハーフミラー 1 6 は、光束 L a を 2 つの光に分割する。ハーフミラー 1 6 を反射した光束 L a は、第 1 の偏光ビームスプリッタ 1 8 に入射する。

【 0 0 7 2 】

ここで、第 1 の偏光ビームスプリッタ 1 8 は、互いに偏光方向が 90 度異なる第 1 の光束 L 1 及び第 2 の光束 L 2 の偏光方向が、第 1 の偏光ビームスプリッタ 1 8 の入射面に対してそれぞれ偏光方向が 45 度傾くように傾けて配置されている。これにより、第 1 の光束 L 1 及び第 2 の光束 L 2 は、第 1 の偏光ビームスプリッタ 1 8 に対してそれぞれ p 偏光成分と s 偏光成分を有することになる。したがって、第 1 の偏光ビームスプリッタ 1 8 を透過した第 1 の光束 L 1 及び第 2 の光束 L 2 は、同じ偏光方向を有する偏光同士が干渉する。よって、第 1 の光束 L 1 と第 2 の光束 L 2 を第 1 の偏光ビームスプリッタ 1 8 によって干渉させることができる。

40

【 0 0 7 3 】

同様に、第 1 の偏光ビームスプリッタ 1 8 によって反射される第 1 の光束 L 1 及び第 2

50

の光束 L 2 は、第 1 の偏光ビームスプリッタ 1 8 に対して同じ偏光方向を有する偏光同士が干渉する。そのため、第 1 の偏光ビームスプリッタ 1 8 によって干渉させることができる。

【 0 0 7 4 】

第 1 の偏光ビームスプリッタ 1 8 によって反射された第 1 の光束 L 1 及び第 2 の光束 L 2 との干渉光は、第 1 の受光素子 3 3 によって受光される。また、第 1 の偏光ビームスプリッタ 1 8 を透過した第 1 の光束 L 1 及び第 2 の光束 L 2 との干渉光は、第 2 の受光素子 3 4 によって受光される。ここで、第 1 の受光素子 3 3 と第 2 の受光素子 3 4 とによって光電変換される信号は、1 8 0 度位相の異なる信号となる。

【 0 0 7 5 】

第 1 の受光素子 3 3 と第 2 の受光素子 3 4 によって、 $A \cos(Kx + \phi)$  の干渉信号が得られる。A は、干渉の振幅であり、K は  $2\pi / d_1$  で示される波数である。また、x は、被測定部材の z 方向への変位に起因する第 1 回折格子 7 上における第 1 の光束 L 1 の移動量である。 $\phi$  は、初期位相を示している。d 1 は、第 1 回折格子 7 における格子のピッチである。

【 0 0 7 6 】

ここで、第 1 の受光素子 3 3 及び第 2 の受光素子 3 4 によって得られる干渉信号には、光源 2 の波長に関する成分が含まれていない。よって、気圧や湿度、温度の変化による光源 2 の波長に変動が起きても干渉強度には影響を受けない。

【 0 0 7 7 】

一方、図 6 に示すように、ハーフミラー 1 6 を透過した光束 L a は、受光側位相板 1 7 に入射する。互いに偏光方向が 9 0 度異なる直線偏光である第 1 の光束 L 1 及び第 2 の光束 L 2 からなる光束 L a は、受光側位相板 1 7 を透過することにより、互いに逆回りの円偏光となる。そして、この互いに逆回りの円偏光は同一光路上にあるので、重ね合わされることにより直線偏光となり、第 2 の偏光ビームスプリッタ 1 9 に入射する。

【 0 0 7 8 】

この直線偏光の s 偏光成分は第 2 の偏光ビームスプリッタ 1 9 によって反射され、第 3 の受光素子 3 5 に受光される。また、p 偏光成分は、第 2 の偏光ビームスプリッタ 1 9 を透過し、第 4 の受光素子 3 6 によって受光される。

【 0 0 7 9 】

上述したように、第 2 の偏光ビームスプリッタ 1 9 に入射する直線偏光は、互いに逆回りの円偏光の重ね合わせによって生じている。そして、第 2 の偏光ビームスプリッタ 1 9 に入射される直線偏光の偏光方向は、被測定部材 5 が高さ方向に  $x / 2$  だけ移動すると 1 回転する。したがって、第 3 の受光素子 3 5 と第 4 の受光素子 3 6 でも同様に、 $A \cos(Kx + \phi')$  の干渉信号が得られる。 $\phi'$  は初期位相である。

【 0 0 8 0 】

また、第 3 の受光素子 3 5 と第 4 の受光素子 3 6 とで光電変換される信号は、1 8 0 度位相が異なる。

【 0 0 8 1 】

なお、本実施形態では、第 1 の偏光ビームスプリッタ 1 8 に対して、第 3 の受光素子 3 5 と第 4 の受光素子 3 6 に受光される光束を分割する第 2 の偏光ビームスプリッタ 1 9 を 4 5 度傾けて配置している。このため、第 3 の受光素子 3 5 と第 4 の受光素子 3 6 において得られる信号は、第 1 の受光素子 3 3 と第 2 の受光素子 3 4 において得られる信号に対し、9 0 度位相がずれている。

【 0 0 8 2 】

したがって、例えば第 1 の受光素子 3 3 と第 2 の受光素子 3 4 で得られる信号を  $\sin$  信号、第 3 の受光素子 3 5 と第 4 の受光素子 3 6 において得られる信号を  $\cos$  信号として用いることによりリサージュ信号を取得することができる。

【 0 0 8 3 】

これらの受光素子によって得られる信号は、相対位置情報出力部 1 1 によって演算され

10

20

30

40

50

、被測定面 5 a の z 方向への変位量がカウントされる。

【 0 0 8 4 】

図 7 に示すように、例えば、本実施形態の相対位置情報出力部 1 1 では、まず、第 1 の受光素子 3 3 と第 2 の受光素子 3 4 で得られた位相が互いに 1 8 0 度異なる信号を第 1 の差動増幅器 6 1 a によって差動増幅し、干渉信号の直流成分をキャンセルする。

【 0 0 8 5 】

そして、この信号は、第 1 の A / D 変換器 6 2 a によって A / D 変換され、波形補正処理部 6 3 によって信号振幅とオフセットと位相とが補正される。この信号は、例えば A 相のインクリメンタル信号としてインクリメンタル信号発生器 6 4 において演算される。

【 0 0 8 6 】

また同様に、第 3 の受光素子 3 5 及び第 4 の受光素子 3 6 で得られた信号は、第 2 の差動増幅器 6 1 b によって差動増幅され、第 2 の A / D 変換器 6 2 b によって A / D 変換される。そして、波形補正処理部 6 3 により信号振幅とオフセットと位相とが補正され、A 相と位相が 9 0 度異なる B 相のインクリメンタル信号としてインクリメンタル信号発生器 6 4 から出力される。

【 0 0 8 7 】

こうして得られた 2 相のインクリメンタル信号は、図示しないパルス弁別回路等により正逆の判別が行われ、これにより、被測定部材 5 の z 方向の変位量が、プラス方向であるかマイナス方向であるかを検出できる。

【 0 0 8 8 】

また、図示しないカウンタによってインクリメンタル信号のパルス数をカウントすることにより、第 1 の光束 L 1 と第 2 の光束 L 2 の干渉光強度が上述の周期の何周期分変化したのかを計測できる。これにより、被測定部材 5 の z 方向の変位量が検出される。

【 0 0 8 9 】

なお、本実施形態の相対位置情報出力部 1 1 の出力する相対位置情報は、上述の 2 相のインクリメンタル信号であってもよいし、それから算出された変位量、変位方向を含む信号であってもよい。

【 0 0 9 0 】

以上のように、本実施形態では、第 1 回折格子 7 をその格子ベクトル  $g_1$  が被測定部材 5 の被測定面 5 a に略垂直となるように配置する。これにより、被測定部材 5 が z 方向に変位した場合にも、物体光である第 1 の光束 L 1 の光路長が変化せず、第 1 の光束 L 1 の第 1 回折格子 7 への入射位置だけが変化する。この結果、受光部 1 0 で得られる干渉信号には、光源 2 の波長に関する成分が含まれない。このため、本実施形態の変位検出装置 1 は、気圧、湿度、温度などの環境の変化に起因した光源 2 の発振波長の変動による干渉強度への影響を低減することができる。

【 0 0 9 1 】

また、本実施形態では、第 2 回折格子 9 を配置することにより、被測定部材 5 の被測定面 5 a がチルトすることによって物体光である第 1 の光束 L 1 の光路長の変化を打ち消すことができる。これにより、被測定部材 5 がチルトしている場合にも、被測定部材 5 の被測定面 5 a の z 方向の変位量をより正確に検出することができる。

【 0 0 9 2 】

そして、本実施形態の変位検出装置 1 によれば、従来の変位検出装置のように、例えば磁石とコイルを用いたアクチュエータのような駆動機能が不要であるため、使用時に発生する熱を抑制できる。さらに、それらの駆動機構を駆動させる必要が無いので、応答周波数が制限されるといった問題も解消され、使用条件を広くすることができる。そして、本実施形態の変位検出装置 1 では、駆動機構を用いないため、高速で安定した計測が可能となる。

【 0 0 9 3 】

ところで、光源 2 に半導体レーザ等を用いた場合、前述したように、光源の温度によって光源 2 の発振波長がわずかに変化する。この変化は第 1 回折格子 7 や第 2 回折格子 9 の

10

20

30

40

50

回折角の変化となる。このため、第 1 の実施形態に係る変位検出装置 1 のように、物体光の光路長が被測定部材 5 の変位によって変わらない場合でも、光軸ずれを生じ、干渉信号の出力低下を引き起こす可能性がある。そこで、以下に、光源 2 の発振波長の変化による光束の傾き変化を抑制することができる変位検出装置について説明する。

【 0 0 9 4 】

《 2 . 第 2 の実施形態：光路長の変化及び光源の波長変化をキャンセルする回折格子を配置した変位検出装置 》

図 9 は、本発明の第 2 の実施形態に係る変位検出装置の概略構成図である。本実施形態の変位検出装置 20 は、第 2 の光束 L2 を第 1 回折格子 7 で回折させる点と、光源 2 の近傍に第 3 回折格子 21 が設けられる点で、第 1 の実施形態に係る変位検出装置 1 と異なる。図 9 において、図 1 に対応する部分には同一符号を付し、重複説明を省略する。

10

【 0 0 9 5 】

本実施形態では、反射部 22 は、第 1 回折格子 7 を挟んで被測定部材 5 と対向する位置に配置される。また、反射部 22 は、被測定部材 5 と第 1 回折格子 7 の関係と同様、反射面が第 1 回折格子 7 の格子ベクトルに対してほぼ直角になるように配置されるのが好ましい。そして、反射部 22 は、光束分割部 4 によって分割されてきた第 2 の光束 L2 を第 1 回折格子 7 に入射させると共に、第 1 回折格子 7 で回折された第 2 の光束 L2 を再び反射させて光束結合部 8 に入射させるように配置される。また、反射部 22 は、光束分割部 4 から光束結合部 8 までの第 1 の光束 L1 の光路長と、光束分割部 4 から光束結合部 8 までの第 2 の光束 L2 の光路長とが等しくなるように配置されている。

20

【 0 0 9 6 】

また、本実施形態では、光源 2 と光束分割部 4 との間に第 3 回折格子 21 が配置されている。第 3 回折格子 21 は、温度や湿度の変化に起因する光源 2 の発振波長の変化による第 1 回折格子 7 の回折角の変化と第 2 回折格子 9 の回折角の変化を打ち消すように配置される。

【 0 0 9 7 】

また、図 9 に示すように、第 1 回折格子 7 への入射角を  $\theta_1$  とし、第 2 回折格子 9 への入射角を  $\theta_2$  とし、第 3 回折格子 7 への入射角を  $\theta_3$  とした場合、それぞれの回折格子への入射条件は、ブラッグ条件をみたしている場合、次の式 9 で表すことができる。

[ 式 9 ]

$$\theta_3 = \theta_1 - \theta_2$$

30

【 0 0 9 8 】

そして、本実施形態の変位検出装置 20 においても、第 1 の実施形態と同様にして、被測定部材 5 の z 方向の変位量を検出することができる。

【 0 0 9 9 】

本実施形態では、第 1 の光束 L1 だけを第 1 回折格子 7 で回折させるのではなく、第 2 の光束 L2 も第 1 の光束 L1 と同様に第 1 回折格子 7 で回折させる。これにより、光源 2 の発振波長の変化に起因した第 1 回折格子 7 での光軸ずれを、第 1 の光束 L1 及び第 2 の光束 L2 の両方に発生させる。これにより、光束結合部 8 で重ね合わせた後の第 1 の光束 L1 及び第 2 の光束 L2 の傾きの変化量を合わせることができ、安定した干渉光を得ることができる。

40

【 0 1 0 0 】

さらに、本実施形態では、光源 2 の発振波長の変化による第 1 回折格子 7 の回折角の変化と第 2 回折格子 9 の回折角の変化は第 3 回折格子 21 によってキャンセルされる。これにより、受光部 10 に入射される光束の傾きの変化を抑制することができる。

【 0 1 0 1 】

一般的に、変位検出装置を小型化するため、各光学パーツの有効径を小さく設計しなければならないが、光束の傾きが大きくなるとケラレが発生する問題があった。これに対し、本実施形態の変位検出装置 20 では、光源 2 の発振波長が変化した場合にも、光束の傾きの変化を抑制することができるので、光学パーツの有効径を小さくした場合にもケラレ

50

を抑制することができ、変位検出装置 20 をより広い温度範囲で使用することができる。

【0102】

その他、本実施形態においても、第 2 回折格子 9 を用いることにより第 1 の実施形態と同様の効果を得ることができる。

【0103】

《3. 第 3 の実施形態：光路長の変化及び光源の波長変化をキャンセルする回折格子を配置した変位検出装置》

次に、本発明の第 3 の実施形態に係る変位検出装置について説明する。図 10 は、本実施形態の変位検出装置の概略構成図である。本実施形態の変位検出装置 30 は、第 1 の光束 L1 及び第 2 の光束 L2 を 2 回、第 1 回折格子 7 に入射させた後に、受光部 10 に入射させる点で第 2 の実施形態に係る変位検出装置 20 と異なる。図 10 において、図 1 及び図 9 に対応する部分には同一符号を付し、重複説明を省略する。

10

【0104】

[3-1. 構成]

図 10 に示すように、本実施形態の変位検出装置 30 では、光束分割部 4 と被測定部材 5 との間には、第 1 の位相板 31 が配置されており、光束分割部 4 と反射部 22 との間には第 2 の位相板 32 が配置されている。第 1 の位相板 31 と第 2 の位相板 32 はそれぞれ 1/4 波長反等で構成されている。

【0105】

また、本実施形態の変位検出装置 30 では、反射部 22 に対して、光源 2 が配置される側とは反対側の位置の、第 1 の光束 L1 及び第 2 の光束 L2 の光路上に戻り用反射部 37 が配置されている。さらに、本実施形態では、第 2 回折格子 9 は戻り用反射部 37 と被測定部材 5 との間の第 1 の光束 L1 の光路上に配置されている。

20

【0106】

戻り用反射部 37 は、第 1 の反射面 37a と、第 2 の反射面 37b とを有する三角形のミラーで構成されている。戻り用反射部 37 の第 1 の反射面 37a には、光束分割部 4 を透過した後、被測定部材 5 の被測定面 5a で 2 回反射されてきた第 1 の光束 L1 が入射する。そして、第 1 の反射面 37a は、入射してきた第 1 の光束 L1 を、入射したときと同じ光路で被測定部材 5 側に反射させる。したがって、第 1 の反射面 37a で反射された第 1 の光束 L1 は、第 2 回折格子 9 で回折され、被測定部材 5 の被測定面 5a で反射され、第 1 回折格子 7 で回折され、再度、被測定部材 5 の被測定面 5a で反射された後、第 1 の位相板 31 を介して光束分割部 4 に入射する。

30

【0107】

戻り用反射部 37 の第 2 の反射面 37b には、光束分割部 4 で反射された後、反射部 22 の反射面で 2 回反射されてきた第 2 の光束 L2 が入射する。そして、第 2 の反射面 37b は、入射された第 2 の光束 L2 を、入射したときと同じ光路で反射部 22 側に戻す。したがって、第 2 の反射面 37b で反射された第 2 の光束 L2 は、反射部 22 の反射面で反射され、第 1 回折格子 7 で回折され、再度、反射部 22 で反射された後、第 2 の位相板 32 を介して光束分割部 4 に入射する。

【0108】

また、戻り用反射部 37 は、光束分割部 4 と戻り用反射部 37 との間の第 1 の光束 L1 の光路長と、第 2 の光束 L2 の光路長とが略等しくなるように配置される。戻り用反射部 37 を設けることで、変位検出装置 30 を製造する際に、第 1 の光束 L1 の光路長と第 2 の光束 L2 の光路長や、光軸の角度を調整し易くすることができる。その結果、気圧、湿度、温度などの環境の変化による光源 2 の波長変動の影響を受けにくくすることができる。

40

【0109】

本実施形態では、戻り用反射部 37 によって第 1 の光束 L1 及び第 2 の光束 L2 を反射することにより、第 1 の光束 L1 及び第 2 の光束 L2 は、第 1 回折格子 7 で 2 回回折されて光束分割部 4 に入射する。そして、光束分割部 4 では、戻ってきた第 1 の光束 L1 及び

50

第2の光束L2を結合し、受光部10に入射させる。すなわち、本実施形態では、光束分割部4が光束結合部8を兼ねる。

【0110】

[3-2. 変位検出方法]

次に、図10、図6及び図7を参照して、本実施形態の変位検出装置30を用いた変位検出方法について説明する。

【0111】

図10に示すように、光源2から出射した光は、レンズ3によりコリメートされて平行光となる。そして、レンズ3によりコリメートされた平行光は、光束分割部4に入射する。光束分割部4に入射した光は、第1の光束L1と第2の光束L2に分割される。ここで、光束分割部4は、光のうちs偏光を反射し、p偏光を透過する。そのため、光束分割部4を透過したp偏光による第1の光束L1は、第1の位相板31に照射され、光束分割部4により反射されたs偏光による第2の光束L2は、第2の位相板32に照射される。

10

【0112】

そして、第1の光束L1及び第2の光束L2は、第1の位相板31及び第2の位相板32により円偏光となる。図10に示すように、円偏光となった第1の光束L1は、被測定部材5の被測定面5aに入射する。そして、第1の光束L1は、被測定部材5によって反射され、第1回折格子7に入射する。

【0113】

第1回折格子7に入射した第1の光束L1は第1回折格子7によって回折され、再び被測定部材5に入射する。次に、再び被測定部材5に入射した第1の光束L1は、被測定部材5で反射されて、第2回折格子9に入射され、第2回折格子9で回折された第1の光束L1は戻り用反射部37の第1の反射面37aで反射される。そして、戻り用反射部37で反射された第1の光束L1は、光束分割部4から戻り用反射部37に到達するまでの光路と同じ光路を辿って、再度、光束分割部4に入射する。再度、光束分割部4に入射される第1の光束L1は、第1の位相板31によって行きと直交した直線偏光、すなわち、s偏光となる。

20

【0114】

一方、光束分割部4によって分割され、第2の位相板32によって円偏光となった第2の光束L2は、反射部22の反射面に入射する。そして、第2の光束L2は、反射部22によって反射され、第1回折格子7に入射する。

30

【0115】

第1回折格子7に入射した第2の光束L2は第1回折格子7によって回折され、再び反射部22に入射する。次に、再び反射部22に入射した第2の光束L2は、反射部22で反射されて、戻り用反射部37に入射し、戻り用反射部37の第2の反射面37bで反射される。そして、戻り用反射部37で反射された第2の光束L2は、光束分割部4から戻り用反射部37に到達するまでの光路と同じ光路を辿って、再度、光束分割部4に入射する。再度、光束分割部4に入射される第2の光束L2は、第2の位相板32によって行きと直交した直線偏光、すなわち、p偏光となる。

40

【0116】

そして、光束分割部4に入射された第1の光束L1及び第2の光束L2は、光束分割部4によって重ね合わされて受光部10に入射する。受光部10から後段の処理は、第1の実施形態と同様であるので重複説明を省略する。

【0117】

本実施形態においても、第1の実施形態と同様、受光部10において、第1の光束L1及び第2の光束L2の干渉光を得ることにより、被測定部材5のz方向への変位量を求めることができる。ここで、本実施形態の変位検出装置30では、第1の光束L1を第1回折格子7で2回回折している。そのため、2回回折された第1の光束L1には、図8を用いて説明した原理により、 $2Kx$ の位相が加わる。Kは、第1の実施形態と同様、 $2/d_1$ で示される波数である。また、xは、第1回折格子7上における第1の光束L1の移

50



動量を示している。つまり、被測定部材 5 が z 方向に  $x/2$  だけ移動すると、第 1 の光束 L 1 は、第 1 回折格子 7 上では 2 倍の  $x$  だけ移動する。さらに、第 1 の光束 L 1 は、第 1 回折格子 7 で 2 回回折することで、第 1 の光束 L 1 には  $2Kx$  の位相が加わり、2 周期分の明暗が生じる干渉光が受光部 10 によって受光される。

【0118】

したがって、第 1 の受光素子 33 と第 2 の受光素子 34 では、 $A \cos(2Kx + \quad)$  の干渉信号を得ることができる。また、第 3 の受光素子 35 と第 4 の受光素子 36 では、 $A \cos(2Kx + \quad')$  の干渉信号を得ることができる。

【0119】

このように、本実施形態の変位検出装置 30 の第 1 回折格子 7 の格子ピッチと、第 1 の実施形態における変位検出装置 1 の第 1 回折格子 7 の格子ピッチを同じとした場合、本実施形態の変位検出装置 30 は第 1 の実施形態の変位検出装置 1 と比較して 2 倍の分解能とすることができる。

10

【0120】

そして、本実施形態においても、第 1 の実施形態と同様、第 2 回折格子 9 が配置されていることにより、被測定部材 5 がチルトした場合にも、光路長の変化をキャンセルすることができる。これにより、被測定部材 5 の z 方向の変位量をより正確に検出することができる。

【0121】

さらに、本実施形態においても、第 2 の実施形態と同様、第 3 回折格子 21 が配置されていることにより、温度、湿度、気圧などの環境変化に起因して光源 2 の発振波長が変動した場合にも、光軸ずれを補正することができる。これにより、干渉強度の低下を防ぐことができる。

20

【0122】

#### 《4. 変位検出装置の利用例》

次に、上述した第 1 ~ 第 3 の実施形態に係る変位検出装置の利用例について図 11 及び図 12 を参照して説明する。図 11 は、第 1 の利用例について示す模式図である。図 12 は、第 2 の利用例について示す模式図である。なお、図 11 及び図 12 に示す利用例における被測定部材 5 は、例えば、回折格子スケールを用いたものである。

【0123】

図 11 に示す利用例では、被測定部材 5 における被測定面 5a と平行をなす第 1 の方向 X の変位を検出する X 軸用リニアエンコーダ 901 と、被測定部材 5 における被測定面と平行をなし、第 1 の方向 Y と直交する第 2 の方向 Y の変位を検出する Y 軸用リニアエンコーダ 902 が設けられている。また、被測定部材 5 の被測定面 5a の高さ方向 (Z 方向) の検出するために上述した第 1 の実施形態の変位検出装置 1 を設けている。

30

【0124】

これにより、X 軸用リニアエンコーダ 901 及び Y 軸用リニアエンコーダ 902 によって、被測定部材 5 の X 軸 Y 軸の変位を計測し、第 1 の実施形態の変位検出装置 1 によって被測定部材 5 の被測定面 5a の高さ方向、すなわち Z 方向の変位を検出することができる。これにより、3次元の計測が可能となる。

40

【0125】

図 12 に示す利用例における被測定部材 5H は、Z 軸を中心に回転するものである。そして、この利用例では、被測定部材 5H の角度情報を検出するロータリーエンコーダ 903 と、被測定部材 5 の高さ方向 Z の検出するために上述した第 1 の実施形態に係る変位検出装置 1 を設けている。この利用例では、被測定部材 5H の角度情報 と、Z 軸の変位を検出することができ、3次元の計測が可能となる。

【0126】

なお、本発明は上述しかつ図面に示した実施の形態に限定されるものではなく、特許請求の範囲に記載した発明の要旨を逸脱しない範囲内で種々の変形実施が可能である。上述した実施の形態例では、光源から照射される光は、気体中だけでなく、液体中又は真空中

50

の空間を飛ばして光を供給するようにしてもよい。

【 0 1 2 7 】

また、参照光用の反射部 6、22 を被測定部材 5 の移動に連動するように移動させてもよい。すなわち、被測定部材 5 における高さ方向の移動量と同じ移動量だけ参照光用の反射部 6、22 を移動させる。これにより、第 2 の光束 L2 に第 1 の光束 L1 と正負の異なる位相を加えることができる。

【 0 1 2 8 】

また、上述した第 1 ~ 第 3 の実施形態において記載された各種のレンズは、単レンズであってもよく、また、複数のレンズで構成されたレンズ群であってもよい。

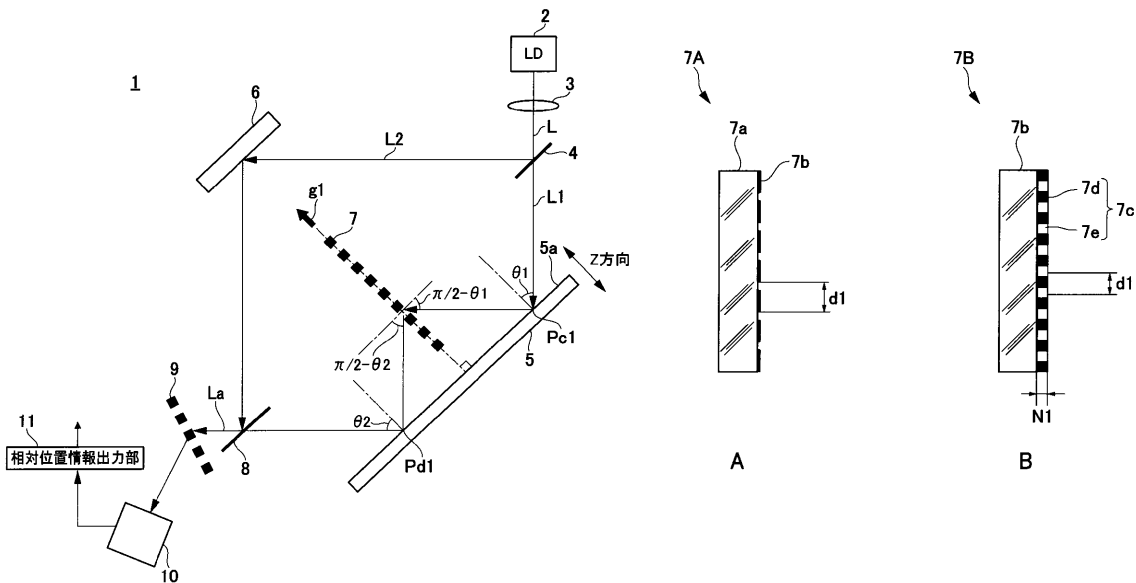
【 符号の説明 】

【 0 1 2 9 】

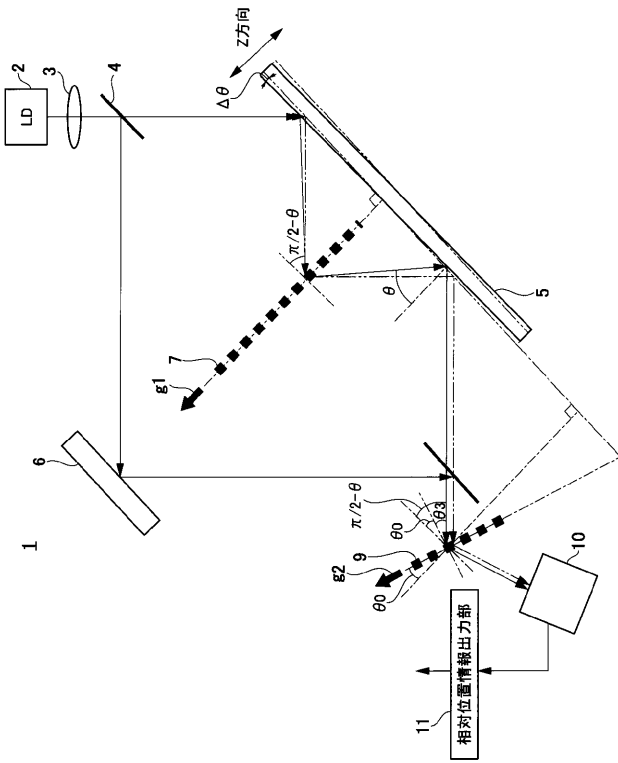
1, 2, 30 ... 変位検出装置、 2 ... 光源、 3 ... レンズ、 4 ... 光束分割部、 5 ... 被測定部材、 6 ... 反射部、 7 ... 第 1 回折格子、 8 ... 光束結合部、 9 ... 第 2 回折格子、 10 ... 受光部、 11 ... 相対位置情報出力部、 14 ... 集光レンズ、 16 ... ハーフミラー、 17 ... 受光側位相板、 18 ... 第 1 の偏光ビームスプリッタ、 19 ... 第 2 の偏光ビームスプリッタ、 21 ... 第 3 回折格子、 22 ... 反射部、 31 ... 第 1 の位相板、 32 ... 第 2 の位相板、 33 ... 第 1 の受光素子、 34 ... 第 2 の受光素子、 35 ... 第 3 の受光素子、 36 ... 第 4 の受光素子、 37 ... 戻り用反射部

【 図 1 】

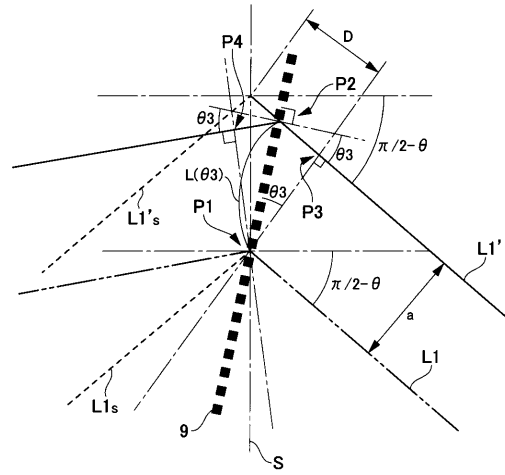
【 図 2 】



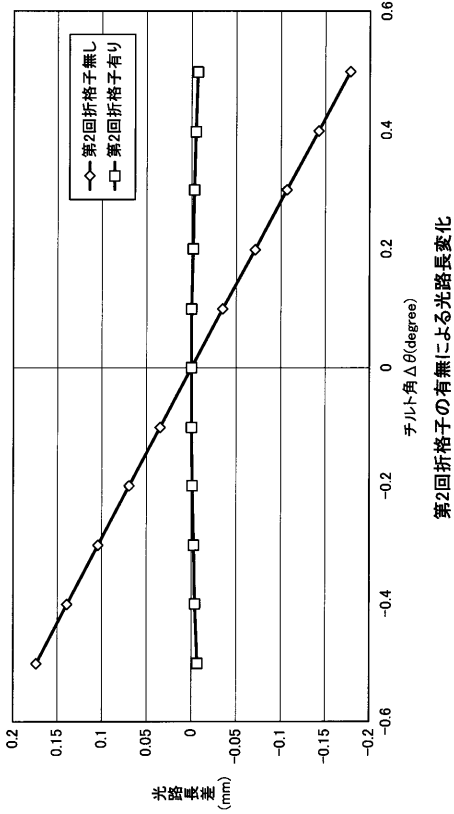
【 図 3 】



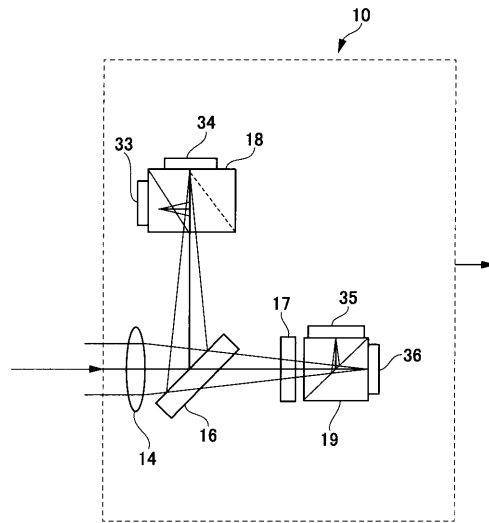
【 図 4 】



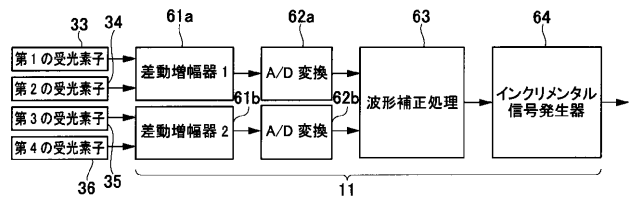
【 図 5 】



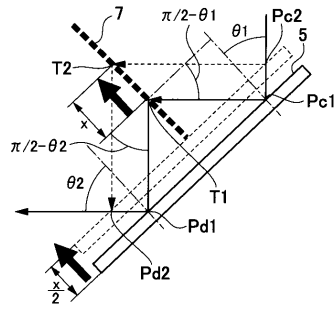
【 図 6 】



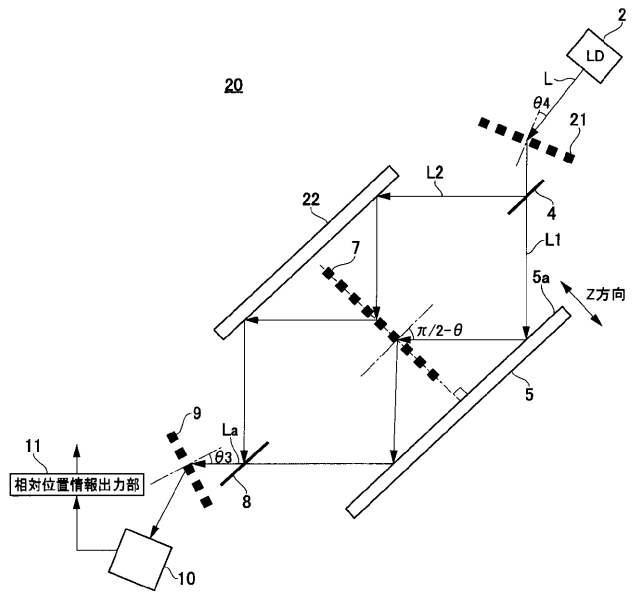
【 図 7 】



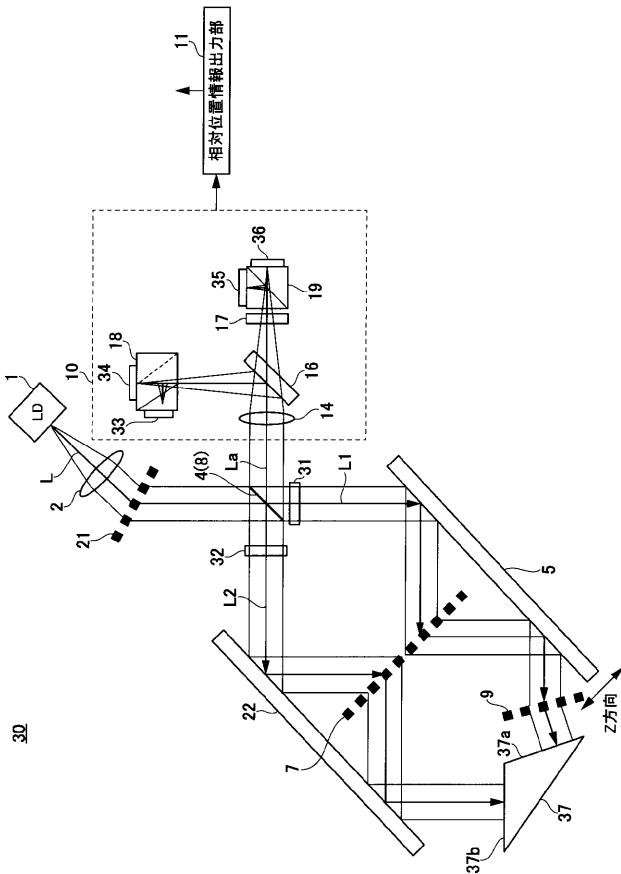
【 図 8 】



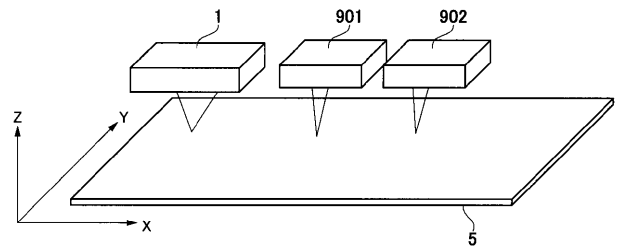
【 図 9 】



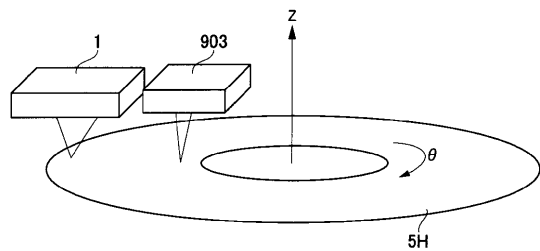
【 図 10 】



【 図 11 】



【 図 12 】



---

フロントページの続き

Fターム(参考) 2F065 AA02 AA06 BB25 CC19 CC21 FF48 FF52 GG05 GG06 HH03  
JJ01 JJ05 LL00 LL12 LL33 LL35 LL36 LL37 LL42